ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
INFORMATION TECHNOLOGY, COMPUTER SCIENCE, AND MANAGEMENT



УДК 519.2, 51-74 https://doi.org/10.23947/2687-1653-2020-20-4-405-413

Подход к прогнозированию ущерба из-за неблагоприятного стечения обстоятельств, связанного с неразличимостью исходных данных



В. Ф. Золотухин[1], А. В. Матершев[2], Л. А. Подколзина[3]
[1, 2] АО «ВНИИ "Градиент"» (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)
[3] ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. При администрировании сложных многопараметрических систем управленческие решения часто принимаются в условиях неопределенности. Остро стоит проблема снижения вероятности нежелательных событий и уменьшения возможного ущерба. Эффективность прогнозирования ущерба для сложных систем напрямую зависит от качества методов обработки, систематизации и количества входных данных. Необходимо совершенствовать методы оценки и прогнозирования ущербов и разрабатывать новые подходы и критерии статистического прогнозирования ущерба и оценки надежности системы. Решение таких задач осложняется большим числом показателей, неопределенностью данных, короткими рядами наблюдений, неполнотой исходной информации, недостаточно развитым научно-методическим аппаратом. Существующие методы прогнозирования ущерба в системах потенциально опасных объектов не учитывают причины происшествий, случившихся из-за неблагоприятных стечений обстоятельств. Как следствие, управленческие решения принимаются на основании недостоверных результатов прогнозирования. В связи с этим актуальной научной задачей представляется разработка методов и методик для формирования целесообразных управленческих решений, свободных от указанного недостатка.
Основная цель работы — рассмотрение частной задачи для прогнозирования ущерба из-за неблагоприятного стечения обстоятельств, связанного с неразличимостью исходных данных. Задачи: рассмотреть такой вид неопределенности, который включает в себя неразличимости истинного состояния системы и реального значения ее количественной характеристики; сформулировать задачу комбинаторики для случая, когда составной весьма опасный признак определяется совместным проявлением двух и более простых признаков.
Материалы и методы. В условиях множественной неразличимости в качестве исходных данных использованы: множество неразличимых исходов с достоверной информацией о факте реализации события и неопределенностью отнесения события к некоторому типу; семейство множеств, имеющих одинаковое число элементов. Учтены Декартово произведение семейств соответствующих множеств и фактическое значение группы составного потенциально опасного фактора с составным весьма опасным признаком. Представлена результирующая моноэлементная группа неразличимости, которая является также возможным событием, полученным в результате пересечения двух необходимых событий.
Результаты исследования. Установлено, что задача прогнозирования ущерба из-за неблагоприятного стечения обстоятельств соответствует задаче комбинаторного типа, состоящей в перечислении всех множеств-аргументов. Полученный диапазон, представляющий собой элементную группу неразличимости, характеризует меньшее и большее возможное значение численности группы потенциально опасного фактора с составным весьма опасным признаком. Показано, что сформулированные комбинаторные задачи без существенных изменений применимы к задачам в обобщенном виде, когда составные весьма опасные признаки определяются с применением не только операции пересечения, но также объединения и разности, а исходными не обязательно будут группы объектов с простыми признаками.
Обсуждение и заключения. Полученные результаты могут быть использованы при построении сложных систем мониторинга, моделирования и прогнозирования многопараметрических объектов и динамических систем.

Ключевые слова: неразличимость, вероятность, математическая модель, риск, случайное событие, вероятность происшествия.

Для цитирования: Золотухин, В. Ф. Подход к прогнозированию ущерба из-за неблагоприятного стечения обстоятельств, связанного с неразличимостью исходных данных / В. Ф. Золотухин, А. В. Матершев,

Л. А. Подколзина // Advanced Engineering Research. — 2020. — Т. 20, № 4. — С. 405–413. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2020-20-4-405-413

Финансирование: работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-01-00357.



An approach to forecasting damage due to unfavorable circumstances associated with indistinguishability of source data

V. F. Zolotukhin[1], A. V. Matershev[2], L. A. Podkolzina[3]
[1, 2] SC “VNII ‘Gradient’” (Rostov-on-Don, Russian Federation)
[3] Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. When administering complex multi-parameter systems, management decisions are often made under uncertainty. There is an acute problem of reduction of the likelihood of unwanted events and mitigation of possible damage. The efficiency of predicting damage to complex systems depends directly on the quality of processing methods, systematization, and the amount of input data. It is required to improve methods for assessing and predicting damage and to develop new approaches and criteria for statistical forecasting of damage and evaluating the system reliability. The solution to such problems is complicated by a large number of indicators, data uncertainty, short series of observations, incomplete initial information, insufficiently developed scientific methodological apparatus. Existing methods for predicting damage in the systems of potentially dangerous objects do not take into account the causes of accidents that happened due to unfavorable circumstances. As a consequence, management decisions are made upon unreliable forecasting results. In this regard, an urgent scientific task is the development of methods and techniques for the formation of viable management decisions, free from this shortcoming. The major study objective is to consider a particular problem for predicting damage due to unfavorable circumstances associated with the indistinguishability of the initial data. The tasks are to consider this kind of uncertainty which includes indistinguishability of the true system condition and the real value of its quantitative characteristics; to formulate a combinatorial problem for the case when a rather dangerous composite feature is determined by the joint manifestation of two or more simple features.
Materials and Methods. Under the conditions of multiple indistinguishability, the following was used as the source data: a set of indistinguishable outcomes with reliable information on the event instance and the uncertainty of assigning the event to a certain type; a family of sets having the same number of elements. The Cartesian product of the families of the corresponding sets and the actual value of the group of a compound potentially dangerous factor with a compound rather dangerous feature are taken into account. The resulting mono-element fuzzy group is presented, which is also a possible event resulting from the intersection of two necessary events.
Results. It is established that the problem of predicting damage due to unfavorable circumstances corresponds to a combinatorial-type problem, which consists in enumerating all sets of arguments. The resulting range, which is an elemental group of indistinguishability, characterizes the smaller and larger possible values of the size of the group of a potentially dangerous factor with a composite rather dangerous feature. It is shown that the formulated combinatorial problems without significant changes are applicable to problems in a generalized form, when composite rather dangerous features are determined using not only the operation of intersection, but also uniting and difference; thereby, the initial groups are not necessarily the objects with simple features.
Discussion and Conclusions. The results obtained are focused on the construction of analytical algorithms for establishing indistinguishability under the monitoring, modeling, forecasting state-related processes and complex dynamic multiparameter objects.

Keywords: indistinguishability, probability, mathematical model, risk, random event, accident potential.

For citation: V. F. Zolotukhin, A. V. Matershev, L. A. Podkolzina. An approach to forecasting damage due to unfavorable circumstances associated with indistinguishability of source data. Advanced Engineering Research, 2020, vol. 20, no. 4, p. 405–413. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2020-20-4-405-413

Funding information: the research is supported by RFFI grant no. 19-01-00357.

Введение. Деятельность в техногенной сфере предполагает риски и критические ситуации. Это могут быть разрушения систем (техника), потеря управления (военное дело), банкротство (экономика). Проблема прогнозирования актуальна для многих отраслей и напрямую связана с необходимостью совершенствования, раз-

вития, разработки и применения математического аппарата средств управления сложными многопараметрическими системами.

Остаются актуальными вопросы одновременной обработки динамических массивов разной степени структурированности. Прообразами математических моделей, содержащих подобные структуры, являются также оптимизационные задачи практического распределения ресурсов в условиях возможных трудно формализуемых воздействий [1]. Высокая степень неопределенности процессов снижает целесообразность использования ресурсоемких алгоритмов распределения. В то же время необходимо получать множества альтернативных решений. Это особенно важно в ситуациях нечеткости и противоречивости информации об имеющихся угрозах [2]. Если объект или процесс непредвиденно изменяется, то в момент принятия решения может отсутствовать адекватная математическая модель. При этом отказ сложных производственных объектов нередко становится причиной техногенных чрезвычайных ситуаций с серьезными экономическими, экологическими и социальными последствиями, что обусловливает необходимость совершенствования математических основ анализа рисков [3, 4].

Стратегические решения по управлению сложными многопараметрическими системами принимаются в условиях неопределенности. Цель управления современными рисками — недопущение критической ситуации. В случае же реализации негативного сценария необходимо минимизировать потери. Для прогнозирования ущерба и принятия адекватных решений ведется постоянный мониторинг, выявляющий основные факторы реализации критической ситуации [5].

Необходимо ранжировать и систематизировать риски по степени влияния на деятельность защищаемого объекта. Любая система характеризуется множеством параметров, которые зачастую носят случайный характер и подвержены изменениям. Эффективность прогнозирования ущерба для сложных систем напрямую зависит от качества методов обработки, систематизации и количества входных данных. Поэтому для оценки времени и условия наступления критической ситуации применяются комбинированные методы прогнозирования, содержащие экспертную, аналитическую, имитационную части и использующие аппарат теории вероятности [6, 7]. Критические значения можно определить аналитически по результатам обработки экспериментальных данных. Такая работа зачастую выполняется в условиях недостатка информации, поэтому возможны ошибки.

Количественной характеристикой степени опасности (или безопасности) систем и ситуаций является риск. Риском здесь и далее будем считать ущерб (последствия) от реализации возможного события в некоторой сложной системе [8]. Ввиду сложности и разнородности факторов, которые влияют на систему и должны быть учтены в процессе принятия решений, необходимо использовать совокупность методов анализа и обработки информации для оценки ущерба, полученного вследствие нарушений работоспособности систем.

Зачастую из-за сложности и дороговизны контроля часть параметров, связанных с техническим состоянием системы (далее — ТСС), является неразличимой. В общих случаях неразличимость рассматривается как неопределенность состояния, которая может проявляться не только в будущем, но и в настоящем (или ближайшем прошедшем) времени [9–10]. Неразличимость описывается в терминах теории возможностей, в которой разработаны методы получения простых числовых характеристик — оценок различных ТСС. Также это соответствует принципу принятия решений, основанных на фактах. Согласно этому принципу, неразличимость состояний системы вызвана неопределенностью знаний о ней и представляет конкретизацию неопределенности знаний о функционировании, физическом поведении. Неопределенности могут иметь экзогенный и эндогенный характер, обусловленный соответственно внешними и внутренними воздействиями [11]. Каждый из видов неопределенности может существенно ухудшать точность принимаемого решения.

Современное состояние проблемы. Значительное количество работ посвящено отдельным аспектам проблемы прогнозирования и оценки рисков при неразличимости данных. Однако эти изыскания лишены общего методологического базиса. В исследованиях [12–27] предлагаются частные решения, но общий математический аппарат все еще не разработан. Так, в [14–15] принимается, что оценка каждого из неразличимых между собой критериев равна среднему арифметическому их номеров. За ранг каждого из неразличимых критериев берется номер всей группы как целого объекта в упорядочении.

В статье [16] предложено унифицировать подходы к управлению комплексной безопасностью различных систем, а также показана ситуация, когда эксперт не различает некоторые критерии.

В [17] рассматривается задача построения интервальных оценок для неизвестной вероятности при наличии в результатах опытов множественных неразличимых исходов. Предлагаются два способа решения: учитывать все неразличимые исходы или же отбрасывать их. В обоих случаях возможны огрубление результата и ошибки.

В работе [18] уточняются неопределенность и неразличимость, возникающие при диагностике состояний энергоустановок. Неразличимость понимается как неопределенность состояния управляемого объекта для наблюдателя. При этом принимается, что неопределенность снижается по мере движения вниз по иерархическим рангам управления энергетическими системами. Кроме того, предложено ввести некоторый порог и считать решения неразличимыми в случае, если квадрат разности искомого значения не превышает установленного порога.

Аспект неразличимости упоминается в свете развития теории приближенных множеств в [19]. Раскрываются понятия нижней, верхней аппроксимации и пограничного региона. Это позволяет создавать решающие правила «если …, то» и оперировать только фактами, без допущений. Ссылаясь на [20], автор уточняет, что на основе теории приближенных множеств разработан один из главных методов принятия решений в области многокритериальной оптимизации.

В статье [21], посвященной безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов, предложен метод экспертной оценки частоты неблагоприятного события, позволяющий разработать рекомендации по уменьшению риска.

В [22] рассматриваются проблемы военно-оперативных исследований в следующем контексте: военные корабли стремятся сдерживать и пресекать морской разбой, а модель движения пиратов основывается на прогнозе вероятности пиратства и на допущении Маркова. Автор использует решение задачи потока с минимальными затратами. Количество поисковиков не имеет значения. При этом предполагается, что они идентичны и неразличимы.

В исследовании [23] изучены операторы Т-неразличимости с геометрической точки зрения как частный случай обобщенных метрических пространств для дальнейшего применения при изучении нечетких подгрупп.

В [24] показано, что существующая неразличимость данных из множества наблюдений не позволяет давать точные оценки состояния системы. Значит, точный прогноз должен основываться на плотности вероятности неразличимых состояний. Эту плотность можно рассчитать, сначала вычислив оценку максимального правдоподобия состояния, а затем ансамблевую оценку плотности состояний, которые неотличимы от состояния максимального правдоподобия.

В [25] представлена характеристика функций, которые позволяют объединить операторы частичной Т-неразличимости (отношений) в новый набор. В [26] рассматривается агрегация операторов частичной Т-неразличимости и частичных псевдометрик. Анализируется агрегация набора операторов частичной Т-различимости и демонстрируется связь между функциями, которые:

— объединяют операторы частичной Т-неразличимости,

— сохраняют частичные Т-псевдометрики в процессе агрегации.

В работе [27] обосновывается связь неразличимости с нечеткими подмножествами. Доказывается, что базовое для них отношение является решеточным изоморфизмом.

Итак, известные подходы к проблеме неразличимости воздействующих факторов функционально ограничены. Они не обеспечивают необходимый уровень достоверности при принятии управленческих решений. Очевидны слабые места их научно-методической базы. Это в целом сдерживает развитие систем прогнозирования с учетом фактора неразличимости и доказывает востребованность разработки и совершенствования математического аппарата.

Таким образом, важная задача управления рисками — прогнозирование ущерба, вызванного неблагоприятным стечением обстоятельств ввиду неразличимости исходных данных. Ее решение представляет значительный теоретический и практический интерес для многих сложнопараметрических динамических систем.

Существующие методы прогнозирования ущерба в системах потенциально опасных объектов не учитывают причины происшествий, случившихся из-за неблагоприятных стечений обстоятельств. Как следствие, управленческие решения принимаются на основании недостоверных результатов прогнозирования. В связи с этим представляется актуальной научной задачей разработка методов и методик для формирования целесообразных управленческих решений, лишенных указанного недостатка.

Постановка задачи исследования. Ущерб, вызванный влиянием опасных факторов и реализацией угроз, не всегда удается заранее спрогнозировать из-за сложности различения обычных состояний многопараметрических объектов и систем, поведение которых не детерминировано. В результате возникает необходимость исследования и оценивания двух независимых видов неопределенности: неразличимости и недетерминированности. Рассмотрим модель прогнозирования из-за неблагоприятного стечения обстоятельств, связанную с неразличимостью исходных данных.

Покажем, что в терминах теоретико-множественного моделирования математическая модель неблагоприятного стечения обстоятельств представляет задачу комбинаторики с общими исходными данными. Сфор-

мулируем эту задачу для случая, когда составной весьма опасный признак определяется совместным проявлением двух и более простых признаков.

Материалы и методы. Исходные данные:

— множество неразличимых исходов U с числом элементов n, содержащее достоверную информацию о факте реализации события и неопределенность отнесения события к некоторому типу;

— семейство $\overline{A}_i$ множеств типа A_i, имеющих одинаковое число n_i элементов.

В условиях множественной неразличимости мы вынуждены для каждого i рассматривать все множества типа A_i, потому что любое из них может представлять группу объектов, которые приобрели i-й простой признак.

Рассмотрим Декартово произведение семейств $\overline{A}_1 \times \overline{A}_2 \times ... \times \overline{A}_k$. Его элементами являются все наборы ($A_1, A_2, ..., A_k$) множеств типа $A_1, A_2, ..., A_k$.

Рассмотрим ситуацию, когда множество $U = \{1,2,3,4\}$, $k = 2$ множества типа A_1 содержит по $n_1 = 3$ элементов, а типа A_2 — по $n_2 = 2$ элементов. Допустим, $A_{1ф} = \{1,2,3\}$, $A_{2ф} = \{1,4\}$. Тогда

— фактическое значение группы составного потенциально опасного фактора с составным весьма опасным признаком. В этом случае семейства $\overline{A}_1$ и $\overline{A}_2$ имеют вид:

$$\overline{A}_1 = \{\{1,2,3\}, \underline{\{1,2,4\}}, \{1,3,4\}, \{2,3,4\}\}, \quad (1)$$

$$\overline{A}_2 = \{\{1,2\}, \{1,3\}, \underline{\{1,4\}}, \{2,3\}, \{2,4\}, \{3,4\}\}. \quad (2)$$

Состав групп потенциально опасного фактора с простыми признаками имеет вид (3, 4), представляющий мономножественные группы неразличимости:

$$A_{1ф} : \{\underline{1}, \underline{2}, \underline{3}, \underline{4}\}, \quad (3)$$

$$A_{2ф} : \{\underline{1}, 2, 3, \underline{4}\}. \quad (4)$$

Как видно, полученные семейства (1) и (2) содержат по $C_4^3 = 4, C_4^3 = 6$ элементов, представляют полиэлементные группы неразличимости и являются *необходимыми событиями.*

Декартово произведение этих семейств будет представлять совокупность, содержащую следующие $n_{1,2} = C_4^3 \cdot C_4^3 = 24$ различные пары элементов $\overline{A}_1$ и $\overline{A}_2$:

$$\begin{matrix} (\{1,2,3\}\{1,2\}), (\{1,2,3\}\{1,3\}), ..., (\{1,2,3\}\{3,4\}), \\ (\{1,2,4\}\{1,2\}), ..., \underline{(\{1,2,4\}\{1,4\})}, ..., (\{1,3,4\}\{3,4\}), \\ .... \\ (\{2,3,4\}\{1,2\}), ..., (\{2,3,4\}\{3,4\}). \end{matrix} \quad (5)$$

Можно увидеть, что $\overline{A}_1 \times \overline{A}_2$ является семейством различных пар множеств типа A_1, A_2, имеющих одинаковое число элементов — соответственно 3 и 2. При $k > 2$ Декартово произведение $\overline{A}_1 \times \overline{A}_2 \times ... \times \overline{A}_k$ будет семейством наборов, каждый из которых содержит по одному множеству типа $A_1, A_2, ..., A_k$.

Будем называть k-наборами упомянутые наборы — элементы $\overline{A}_1 \times \overline{A}_2 \times ... \times \overline{A}_k$. Каждому k-набору поставим в соответствие пересечение входящих в него множеств, то есть выделим в таких множествах общие элементы. Например, пересечениями для шестой и девятой пар в (5), имеющих вид $(\{1,2,3\}\{3,4\}) u (\{1,2,4\}\{1,4\})$, будут соответственно множества $\{1,2,3\} \cap \{3,4\} = \{3\} u \{1,2,4\} \cap \{1,4\} = \{1,4\}$.

Общий результат (5) будет иметь вид:

$$\left\{ \begin{matrix} \{1,2\} & \{1,3\} & \{1\} & \{2,3\} & \{2\} & \{3\} \\ \{1,2\} & \{1\} & \underline{\{1,4\}} & \{2\} & \{2,4\} & \{4\} \\ \{1\} & \{1,3\} & \{4\} & \{3\} & \{1,4\} & \{3,4\} \\ \{2\} & \{3\} & \{4\} & \{2,3\} & \{2,4\} & \{3,4\} \end{matrix} \right\}. \quad (6)$$

Выражение (6) является результирующей моноэлементной группой неразличимости, а также *возможным событием*, полученным в результате пересечения двух необходимых событий (1) и (2).

Теперь рассмотрим функцию f с аргументами, являющимися упомянутыми пересечениями множеств типа $A_1 \cap A_2 \cap ... \cap A_k$, и со значениями, равными числу элементов этих пересечений:

$$f\left(A_1 \cap A_2 \cap ... \cap A_k\right) = \left|A_1 \cap A_2 \cap ... \cap A_k\right| = r, \tag{7}$$

где k — число элементов соответствующего множества.

Для рассмотренных выше шестой и девятой пар:

$$f\left(\{1,2,3\} \cap \{3,4\}\right) = f\left(\{3\}\right) = 1,$$

$$f\left(\{1,2,4\} \cap \{1,4\}\right) = f\left(\{1,4\}\right) = 2.$$

Теперь можно увидеть, что речь идет о задаче комбинаторного типа, состоящей в перечислении всех множеств-аргументов для получения по ним различных значений. Такое перечисление можно найти после определения меньшего и большего значений f, которые совпадают с меньшим и большим возможными значениями численности группы объектов с составным весьма опасным признаком.

Результаты исследования. Рассмотрим следующее определение: *C* — возможное при осуществлении *E* событие, если $\mathrm{E} \cap \mathrm{C} \neq \emptyset$.

Будем исходить из того, что понятие возможности события обычно связано с предположениями в неопределенных обстоятельствах. Поэтому применение этого понятия неуместно, если известны *E*, *C* и осуществившийся исход $\mathrm{x} \in \mathrm{E}$. С появлением *E* ясно, что *C* либо имеет место, если $\mathrm{x} \in \mathrm{C}$, либо нет — в противном случае. При этом неопределенность отсутствует.

Самым распространенным, продуктивным и достаточным для наших целей является понятие возможного события, обусловленное неопределенностью в виде неразличимости появившегося исхода среди других исходов *E*. В связи с этим о *C* как о возможном событии говорят при перечисленных ниже дополнительных условиях.

Условие 1. Известны события *E* и *C* и, следовательно, их пересечение $\mathrm{E} \cap \mathrm{C} \neq \emptyset$ (по определению, это не пустое множество).

Условие 2. Не установлен исход x'_i, из-за которого происходит *E*, если $E = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$ принадлежит более одного элемента. Известно лишь, что x'_i — один из элементов *E*, но не установлено, какой именно, т. е. $\exists!\, \mathrm{x}'_i \in \mathrm{E}$.

С учетом условий 1 и 2 конкретизируется общепринятый смысл утверждения, что *C* — важное событие. Итак, *C* либо *осуществлялось*, если неразличимый фактический исход $\mathrm{x}'_i \in \mathrm{E} \cap \mathrm{C}$ (а значит, $\mathrm{x}'_i \in \mathrm{C}$), либо *не осуществилось* — в противном случае (если $\mathrm{x}'_i \notin \mathrm{E} \cap \mathrm{C}$). Рассмотрим пример, иллюстрирующий возможное событие такого рода.

Пусть *E* и *C* состоят соответственно в появлении четного числа и больше трех очков при бросании игральной кости, то есть $E = \{2, 4, 6\}$, $C = \{4, 5, 6\}$. Здесь $\mathrm{E} \cap \mathrm{C} = \{4,6\} \neq \emptyset$. Известно, что *E* произошло, но не установлено, какой из его исходов имел место. В результате соблюдены выше приведенные условия, согласно которым *C* — возможное событие: оно осуществилось, если имел место либо исход $\mathrm{x}'_2 = 4$, либо исход $\mathrm{x}'_3 = 6$, и не осуществилось, если реализовался исход $\mathrm{x}'_1 = 2$.

Важным частным случаем возможного является необходимое событие *C*. Оно имеет место, если $\mathrm{E} \cap \mathrm{C} \neq \emptyset$ (условие 1), соблюдается условие 2 и $\mathrm{E} \subset \mathrm{C}$, то есть в случае, когда все исходы *E* принадлежат *C*. Какой бы из них ни появился, он приводит к осуществлению *C*.

В данном примере по $n = 4$, $n_1 = 3$, $n_2 = 2$ найдем, что f принимает два значения: 1 и 2. Это свидетельствует о том, что имеются лишь одно- и двухэлементные пересечения $A_1 \cap A_2$ множеств типа $A_1, A_2 \subset U$, $U = \{1,2,3,4\}$, т. е. в группе потенциально опасных объектов с составным весьма опасным признаком может быть либо 1, либо 2 объекта, и группа неразличимости (8) является числовой моноэлементной группой неразличимости:

$$\{1, \underline{2}\}. \tag{8}$$

Следующей вытекающей из рассматриваемой модели неблагоприятного стечения обстоятельств является частная задача, которая заключается в том, что каждое полученное выше значение f нужно разделить на *n*, т. е. найти ее нормированные значения — набор альтернативных частот приобретения произвольным объектом составного весьма опасного признака в условиях множественной неразличимости и недетерминированно-

сти. Последняя состоит в том, что частные $n_i \backslash n$ представляют частоты появления на произвольном объекте i-го простого признака для всех $i = 1, \ldots, k$.

Сформулируем цель решения следующей комбинаторной задачи, соответствующей частотной задаче: определить число s элементов $\bar{A}_1 \times \bar{A}_2 \times \ldots \times \bar{A}_k$, найти $s(r)/s$ для всех r.

Частные $s(r)/s$ для всех r представляют собой вероятности того, что число объектов с составным весьма опасным признаком будет равно определенному значению r. Для вычисления таких вероятностей в этой связи применим зависимость:

$$s = C_n^{n_1} \cdot C_n^{n_2} \cdot \ldots \cdot C_n^{n_k} . \quad (9)$$

Аналогично, расширив рамки частной задачи, можно определить представляющий особый интерес набор альтернативных частот (отсутствия на произвольном объекте составного весьма опасного признака). Его можно найти, заменив в исходных данных множества типа A_1, A_2 на их дополнения типа $U \backslash A_1$, $U \backslash A_2$ с числом элементов $n - n_1 = 1$ и $n - n_2 = 2$ соответственно. При этом на предварительном этапе аналогично определяются семейства, Декартово произведение семейств, элементам которых ставятся в соответствие пересечения множеств типа ($U \backslash A_1 \cap U \backslash A_2$), и функция, значениями которой являются числа элементов таких пересечений. Определив эти числа, решим комбинаторную задачу, соответствующую одной частной задаче, а после нормализации

— другой. В терминах моделирования первой задачи применительно к новым исходным данным вторая представит:

— множество U с числом элементов n,

— различные множества $U \backslash A_1$ с одним и тем же числом элементов $n - n_1$,

— различные множества $U \backslash A_2$ с количеством элементов $n - n_2$ каждое.

Важное значение для практики имеет соответствующая проблеме комбинаторная задача с новыми исходными данными. Для ее решения целесообразно использовать результат следующих рассуждений. Пусть наряду с набором упорядоченных по возрастанию значений f получен набор аналогично упорядоченных значений — такой же, как f функции g, аргументы которой соответствуют новым данным. Можно показать, что первый и второй наборы имеют одинаковое число элементов. Пусть f_h и g_h — члены этих наборов с номером h. Можно убедиться, что члену g_h второго набора соответствует такое же число аргументов функции g, как и члену f_h первого набора, и число всех аргументов (вариантов) f и g одинаково, то есть равно s.

Следовательно, произвольному значению g_h функции g соответствуют в терминах модели частные типа $s(r)/s$, где $r = f_h$. Эти частные представляют соответствующие вероятности наличия групп объектов без составного весьма опасного признака различной численности, если вероятности появления различных групп объектов одинаковой численности с простым признаком i для всех $i = 1 \ldots k$ одни и те же.

Можно показать, что сформулированные комбинаторные задачи без существенных изменений применимы к задачам в обобщенном виде, когда составные весьма опасные признаки определяются с применением не только операции пересечения, но также объединения $A_1 \cup A_2 \cup \ldots \cup A_k$, разности $A_1 \setminus A_2$, $A_2 \setminus A_1$ и т. п., а исходными не обязательно являются только группы объектов с простыми признаками.

Обсуждение и заключения. Итак, установлено, что задача прогнозирования ущерба из-за неблагоприятного стечения обстоятельств соответствует задаче комбинаторного типа. Она состоит в:

— перечислении всех множеств-аргументов,

— выводе различных значений f,

— определении меньшего и большего значений f,

— получении диапазона возможных значений функции f, в котором находится его фактическое значение.

Этот диапазон представляет собой элементную группу неразличимости, характеризует меньшее и большее возможное значение численности группы потенциально опасного фактора с составным весьма опасным признаком и включает в себя несколько операций.

Полученные результаты ориентированы на построение аналитических алгоритмов установления неразличимости в процессе мониторинга, моделирования и прогнозирования процессов, связанных с состоянием, и сложных динамических многопараметрических объектов.

Библиографический список

1. Венцов, Н. Н. Формирование стартовой популяции в условиях неопределенностей / Н. Н. Венцов, Ю. О. Чернышев // Интеллектуальные системы и информационные технологии — 2019 : тр. междунар. науч.-тех. конгресса. — Ростов-на-Дону : Изд-во ДГТУ, 2019. — С. 25–30.

2. Подиновский, В. В. Потенциальная недоминируемость в задачах выбора нескольких лучших вариантов / В. В. Подиновский // Вестник Московского университета им. С. Ю. Витте. — 2013. — № 2. — С. 57–63. — (Образовательные ресурсы и технологии).

3. Чернышев, Ю. О. Эволюционный алгоритм поиска множества альтернативных маршрутов в условиях возможных воздействий / Ю. О. Чернышев, Н. Н. Венцов, И. С. Пшеничный // Инженерный вестник Дона. — 2018. — № 4 (51). — С. 42–56.

4. Кравцова, М. В. Оценка техногенного риска технически сложных производственных объектов машиностроения / М. В. Кравцова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2012. — Т. 14, № 1–3. — С. 877–884.

5. Буньковский, Д. В. Инструменты управления предпринимательскими рисками / Д. В. Буньковский // Вопросы управления. — 2019. — № 1 (37). — С. 65–76. DOI: 10.22394/2304-3369-2019-1-65-76

6. Белых, А. А. Основы методологии прогнозирования и оценки эффективности информационных систем / А. А. Белых // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2011. — № 71. — С. 111–133.

7. Орлов, А. И. Менеджмент / А. И. Орлов. — Москва : Изумруд, 2003. — 298 с.

8. Математическое моделирование техногенного риска / В. А. Остейковский [и др.]. — Сургут : ИЦ СурГУ, 2010. — 96 с.

9. Гермейер, Ю. Б. Введение в теорию исследования операций / Ю. Б. Гермейер. — Москва : Наука, 1971. — 384 с.

10. Золотухин, В. Ф. Характеристики техногенной безопасности в условиях неразличимости / В. Ф. Золотухин, А. А. Захаров, В. Ю. Рева // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2009. — Т. 91, № 2. — С. 54–58.

11. Целигоров, Н. А. Математические модели неопределенностей систем управления и методы, используемые для их исследования / Н. А. Целигоров, Е. Н. Целигорова, Г. М. Мафура // Инженерный вестник Дона. — 2012. — Т. 23, № 4–2. — 48 с.

12. Золотухин, В. Ф. Фундаментальные числовые характеристики, возможности, возможные распределения и меры / В. Ф. Золотухин // Автоматика и телемеханика. — 2003. — № 12. — С. 152–159.

13. Гусев, Л. А. Об одной оценке эффективности машинной диагностики двигательных нарушений / Л. А. Гусев, О. Е. Хуторская // Автоматика и телемеханика. — 2003. — № 12. — С. 112–121.

14. Литвак, Б. Г. Экспертная информация: методы получения и анализа / Б. Г. Литвак. — Москва : Радио и связь, 1982. — 184 с.

15. Ажмухамедов, И. М. Моделирование на основе экспертных суждений процесса оценки информационной безопасности / И. М. Ажмухамедов // Вестник — (Управление, вычислительная техника и информатика) Астраханского государственного технического университета. — 2009. — № 2. — С. 101–109.

16. Ажмухамедов, И. М. Анализ и управление комплексной безопасностью на основе когнитивного моделирования / И. М. Ажмухамедов // Управление большими системами. — 2010. — № 29. — С. 5–15.

17. Гусев, Л. А. Интервальные оценки вероятности при наличии неразличимости / Л. А. Гусев // Проблемы управления. — 2013. — № 4. — С. 16–22.

18. Крохин, Г. Д. Источники информации и причины ее неопределенности, выявленные при диагностике состояния энергоустановок / Г. Д. Крохин // Вестник НГУЭУ. — 2014. — № 1. — С. 292–311.

19. Фатуев, В. А. Управление динамическими системами с использованием ситуационных и регрессионных моделей / В. А. Фатуев, М. А. Сафронова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2012. — № 2. — С. 118–127.

20. Greco, S. Rough sets theory for multicriteria decision analysis / S. Greco, B. Matarazzo, R. Slowinski // European Journal of Operational Research. — 2001. — Vol. 129 (1). — P. 1–47.

21. Короткий, А. А. Обоснования безопасности грузоподъемных кранов / А. А. Короткий, Е. В. Егельская, А. П. Шерстюк // Вестник Донского государственного технического университета. — 2017. — Т. 91, № 4. — С. 136–143.

22. Bourque, F.-A. Solving the moving target search problem using indistinguishable searchers / F. A. Bourque// European Journal of Operational Research. — 2019. — Vol. 275 (1). — P. 45–52. DOI:10.1016/j.ejor.2018.11.006

23. Jacas, J. The group of isometries of an indistinguishability operator / J. Jacas, J. Recasens // Fuzzy Sets and Systems. — 2004. — Vol. 146 (1). — P. 27–41. DOI:10.1016/j.fss.2003.11.004

24. Judd, K. Indistinguishable states: I. Perfect model scenario / K. Judd, L. Smith // Physica D: Nonlinear Phenomena. — 2001. — Vol. 151(2–4). — P. 125–141. DOI:10.1016/s0167-2789(01)00225-1

25. Calvo, T. On the problem of aggregation of partial T-indistinguishability operators / T. Calvo, P. Fuster, O. Valero // Atlantis Studies in Uncertainty Modelling. — 2019. — Vol. 1. — 52–59. DOI: 10.2991/eusflat-19.2019.8

26. Sánchez, T. C. Aggregation of partial *T*-indistinguishability operators and partial pseudo-metrics / T. C. Sánchez, P. Fuster-Parra // Fuzzy Sets and Systems. — 2021. — Vol. 403. — P. 119–138. DOI: 10.1016/j.fss.2019.10.009

27. Mattioli, G. Structural analysis of indistinguishability operators and related concepts / G. Mattioli, J. Recasens // Information Sciences. — 2013. — Vol. 241. — P. 85–100.

Сдана в редакцию 29.07.2020
Запланирована в номер 12.10.2020

Об авторах:

Золотухин Владимир Филиппович, сотрудник АО «ВНИИ «Градиент», (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, ул. Соколова 96), доктор технических наук, профессор, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-8449-5826, ScopusID: 7006603308, chita1983@rambler.ru

Матершев Александр Владимирович, аспирант АО «ВНИИ «Градиент», (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, ул. Соколова 96), соискатель ст. кандидата тех. наук, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-9533-3785, matershev.aleksandr@mail.ru

Подколзина Любовь Александровна, аспирант кафедры «Информационные технологии» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1), ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9476-5802, ScopusID: 57200151503, Researcher ID: M-5035-2019, podkolzinalu@gmail.com

Заявленный вклад соавторов:

В. Ф. Золотухин — формирование основной концепции, научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов. А. В. Матершев — постановка цели и задачи исследования, проведение расчетов, формулирование выводов. Л. А. Подколзина — обзор литературных источников, анализ расчетов, подготовка текста, формулирование выводов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.